

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 2 5 日
Date of Application:

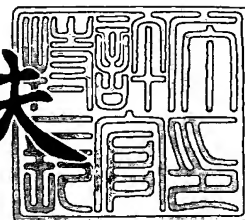
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 8 1 7 9 6
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 8 1 7 9 6]

出 願 人 富 士 通 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 2 5 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 3 - 3 1 0 7 5 6 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 0253137

【提出日】 平成15年 3月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35

【発明の名称】 ラマン増幅器およびそれを用いたシステム

【請求項の数】 5

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 室 真一郎

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 菅谷 靖

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100078330

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 笹島 富二雄

 【電話番号】 03-3508-9577

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009232

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9719433
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書**【発明の名称】** ラマン増幅器およびそれを用いたシステム**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

増幅媒体で発生するラマン効果によって信号光を増幅するラマン増幅器において、

増幅媒体に励起光を供給する励起光供給部と、

増幅媒体を伝搬して出力される光のパワーを測定する出力光モニタ部と、

運用開始前の準備段階において、運用時に実際に使用する増幅媒体に励起光を供給して当該増幅媒体内で発生する自然ラマン散乱光のパワーを前記出力光モニタ部で測定し、該測定された自然ラマン散乱光のパワーに基づいて、運用開始後に自然ラマン散乱光のパワーを計算するためのモデル式の係数を求める自然ラマン散乱光処理部と、

該自然ラマン散乱光処理部で求められた係数を記憶する記憶部と、

該記憶部に記憶された係数を適用したモデル式に従い、前記励起光供給部により増幅媒体に供給される励起光パワーに応じて、運用開始後に発生する自然ラマン散乱光のパワーを算出する自然ラマン散乱光演算部と、

該自然ラマン散乱光演算部で算出された自然ラマン散乱光のパワーを用いて、前記出力光モニタ部で測定される出力光パワーを補正し、該補正された出力光パワーに基づいて、前記励起光供給部の動作を制御する励起光制御部と、

を備えて構成されたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記励起光供給部は、波長の異なる複数台の励起光源を有し、

前記自然ラマン散乱光処理部は、前記複数台の励起光源を 1 台ずつ駆動したときに前記出力光モニタ部で測定される自然ラマン散乱光のパワーと、前記複数台の励起光源のうちの 2 台を組み合わせ駆動したときに前記出力光モニタ部で測定される自然ラマン散乱光のパワーとを用いて、前記モデル式の係数を求めることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記出力光モニタ部は、増幅媒体を伝搬して出力される光を複数の波長ブロックに分割して各々の波長ブロックに対応した出力光のパワーを測定し、

前記励起光制御部は、前記自然ラマン散乱光演算部で算出された自然ラマン散乱光のパワーを用いて、前記出力光モニタ部で測定される各波長ブロックに対応した出力光のパワーをそれぞれ補正し、該補正された各波長ブロックの出力光パワーに基づいて、ラマン増幅された信号光の波長特性が目標とする波長特性に近づくように、励起光の供給状態を制御することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のラマン増幅器と、該ラマン増幅器に縦続接続された希土類添加ファイバ増幅器と、を備えて構成されたことを特徴とする光増幅システム。

【請求項 5】

信号光送信装置から光伝送路に送信された信号光を光伝送路上に配置された光中継器で増幅しながら信号光受信装置まで中継伝送する光伝送システムにおいて、

前記光中継器が、請求項 1 に記載のラマン増幅器を備えて構成されたことを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】**【0 0 0 1】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、増幅媒体に励起光を供給してラマン効果により信号光を増幅するラマン増幅器に関し、特に、ラマン増幅によって発生する雑音光の影響を考慮して励起光の供給状態を制御するラマン増幅器およびそれを用いたシステムに関する。

【0 0 0 2】**【従来の技術】**

光伝送システムにおいて、従来のエルビウム添加ファイバ増幅器（EDFA）を用いて信号光を増幅する構成に対してラマン増幅器を適用することは、信号対

雑音比を大幅に改善できるなどの効果が得られ有効である。上記のラマン増幅器には、伝送用光ファイバを増幅媒体とする分布型の構成があり、具体的には、励起光源を伝送用光ファイバの信号光出力側に設置する後方励起構成が一般的である。また、分布型ラマン増幅器の他にも、ラマン増幅用光ファイバを増幅媒体とする集中定数型の構成も知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 3 】

上記のようなラマン増幅器については、出力される信号光のパワーをモニタすることによって、信号光遮断時のシャットダウン制御や出力一定制御、利得の波長依存性の制御などを行うことが提案されている（例えば、特許文献 2、3 参照）。なお、シャットダウン制御は、サージによるシステム破壊や光ファイバ切断等によって高パワーの励起光が外部に漏れたとき、その励起光が人体に照射されることを回避するための機能として、通常、光増幅器に備えられている。

【 0 0 0 4 】

上記のような制御に利用される信号光のモニタ値は、例えば、モニタ系の損失、受光素子（P D）のモニタ電流ばらつき、自然ラマン散乱光などによる誤差が大きくなると、信号光が遮断されていないときにシャットダウン制御が行われたり、信号光出力パワーの誤差が拡大したりするなどの問題が生じることになる。このため、光増幅器から出力される信号光を高い精度でモニタすることが重要となる。また、例えば、光信号対雑音比（O S N R）を所要値とする制御を行う場合には、雑音光を除いた本来の信号光出力パワーのみをモニタする技術も必要となる。

【 0 0 0 5 】

一般に、ラマン増幅器では、例えば図 1 0 に示すように、増幅媒体となる光伝送路において、信号光の増幅帯域内にラマン増幅による雑音光が発生するため、出力信号光のモニタは、前段までの中継区間で累積した雑音成分を含んだ信号光と、ラマン増幅による雑音光とを同時に受光することになる。上記のラマン増幅による雑音光は、信号光が入力されていない状態で励起光だけを増幅媒体に入射した場合にも発生する雑音光である。本明細書では、E D F A 等の希土類添加ファイバ増幅器で発生する自然放出（Amplified Spontaneous Emission：A S E）

光に対し、ラマン増幅器で発生する上記雑音光を自然ラマン散乱 (Amplified Spontaneous Raman Scattering : A S S) 光と呼ぶことにする。

【0 0 0 6】

ラマン増幅器の信号光出力パワーをモニタする従来の技術としては、例えば図 1 1 に示すように、増幅媒体に供給される励起光のパワーを基にラマン増幅器で発生する A S S 光パワーを計算し、その A S S 光パワーを実際に受光した出力光のモニタ値から差し引いて補正する方法が公知である (例えば、特許文献 4 参照)。また、信号光パワーと A S S 光パワーを分離する手段として、簡易光スペクトラムアナライザを用いる方法も知られている。ただし、簡易光スペクトラムアナライザを利用する方法については、モニタの精度が低くなると共に、高価なモニタ系になるという欠点がある。

【0 0 0 7】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 2 - 4 0 4 9 6 号公報

【特許文献 2】

特開 2 0 0 2 - 7 6 4 8 2 号公報

【特許文献 3】

特開 2 0 0 2 - 7 2 2 6 2 号公報

【特許文献 4】

国際公開第 0 2 / 2 1 2 0 4 号パンフレット

【0 0 0 8】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような従来のラマン増幅器については、次のような問題点がある。例えば、希土類添加ファイバ増幅器や集中定数型ラマン増幅器のように増幅媒体が管理されている光増幅器では、前述したような公知の方法によって雑音光パワーをほぼ正しく計算することが可能であるが、伝送用光ファイバを増幅媒体とする分布型ラマン増幅器の場合には、伝送用光ファイバのファイバパラメータが未知であることが多いため、予測されるファイバパラメータの値と実際の値とが大きく異なったり、予測し得ない損失が存在したりすること考えられ

、ASS光の計算値に大きな誤差が生じる可能性がある。

【0009】

具体的に、ASS光パワーが実際よりも大きく見積もられた場合、シャットダウン処理では、信号光の伝送が可能な状態であるにも拘わらず励起光が停止等させてしまい、信号光の伝送が中断することになる。出力一定制御では、信号光が所要のパワーよりも高いレベルで出力されることになるので、非線形効果の増大による信号波形劣化等を招いてシステムパフォーマンスを低下させる可能性がある。一方、ASS光パワーが実際よりも小さく見積もられた場合、シャットダウン処理では、信号光が遮断状態であるにも拘わらず励起光が出力されてしまい、ファイバ切断などが原因で信号断となっている状況では高パワーの励起光が外部に放射されて人体に悪影響を及ぼす虞が考えられる。出力一定制御では、信号光が所要のパワーよりも低いレベルで出力されることになるので、OSNR劣化を招いてしまうことになる。

【0010】

また、ラマン増幅器の利得の波長依存性を制御する場合については、例えば上述した特許文献3で提案されている方式では、励起光パワーと信号光出力パワーの関係を行列式で表し、その逆行列を用いて各波長で所要の信号光出力パワーが得られるように励起光パワーの設定が行われることになるが、前述したASS光の計算の場合と同様にして、増幅媒体となる光ファイバのファイバパラメータが未知である場合が多く、励起光パワーの設定値に大きな誤差が生じる可能性がある。加えて、制御に用いる行列式が実際の敷設ファイバに対応していない場合は、制御が収束するまでに時間が掛かるか若しくは制御が発散してしまい、励起光パワーが定まらないなどの問題が生じる。

【0011】

本発明は上記の点に着目してなされたもので、自然ラマン散乱光のパワーを高い精度で算出して出力信号光のモニタ値の補正を行い励起光の供給状態を確実に制御できるラマン増幅器およびそれを用いたシステムを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明にかかるラマン増幅器は、増幅媒体で発生するラマン効果によって信号光を増幅するラマン増幅器において、増幅媒体に励起光を供給する励起光供給部と、増幅媒体を伝搬して出力される光のパワーを測定する出力光モニタ部と、運用開始前の準備段階において、運用時に実際に使用する増幅媒体に励起光を供給して当該増幅媒体内で発生する自然ラマン散乱光のパワーを前記出力光モニタ部で測定し、該測定された自然ラマン散乱光のパワーに基づいて、運用開始後に自然ラマン散乱光のパワーを計算するためのモデル式の係数を求める自然ラマン散乱光処理部と、該自然ラマン散乱光処理部で求められた係数を記憶する記憶部と、該記憶部に記憶された係数を適用したモデル式に従い、前記励起光供給部により増幅媒体に供給される励起光パワーに応じて、運用開始後に発生する自然ラマン散乱光のパワーを算出する自然ラマン散乱光演算部と、該自然ラマン散乱光演算部で算出された自然ラマン散乱光のパワーを用いて、前記出力光モニタ部で測定される出力光パワーを補正し、該補正された出力光パワーに基づいて、前記励起光供給部の動作を制御する励起光制御部と、を備えて構成されるものである。

【0 0 1 3】

上記のような構成のラマン増幅器では、運用開始前の準備段階における現地調整等の処理として、運用時に実際に使用される増幅媒体を用いた自然ラマン散乱光パワーの測定が行われ、その測定結果に基づいて自然ラマン散乱光パワー計算用のモデル式の係数が求められて、その係数が記憶部に記憶される。そして、運用開始後には、増幅媒体への励起光の供給パワーに応じて、上記の係数を適用したモデル式に従い自然ラマン散乱光のパワーが計算により求められ、その計算結果を用いて、出力光モニタ部で測定される出力光パワーに対する自然ラマン散乱光パワーの補正が行われ、その補正された出力光パワーを基に励起光供給部の動作制御が実行される。これにより、実際の運用状況に対応した自然ラマン散乱光パワーの補正を行うことができるようになるため、例えば出力一定制御やシャットダウン制御、波長特性偏差の制御などといったラマン増幅器の各種制御を確実に行うことが可能になる。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、全図を通して同一の符号は同一または相当部分を示すものとする。

【0015】

図1は、本発明の第1実施形態によるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

図1において、本実施形態のラマン増幅器は、例えば、増幅媒体としての光伝送路2に対してラマン増幅用の励起光 L_p を供給するラマン増幅ユニット1を備え、このラマン増幅ユニット1は、励起光供給部10、出力光モニタ部20および制御部30から構成される。

【0016】

励起光供給部10は、例えば、 n 台の励起光源(LD)11-1~11- n 、合成器12およびWDMカプラ13から構成される。各励起光源11-1~11- n は、光伝送路2を伝送される信号光 L_s をラマン増幅することが可能な所要の波長帯の光をそれぞれ発生して合成器12に出力する。合成器12は、各励起光源11-1~11- n からの出力光を1つに合成して励起光 L_p を生成し、その励起光 L_p をWDMカプラ13に出力する。WDMカプラ13は、合成器12から出力される励起光 L_p をラマン励起ユニット1の信号光入力端に接続された光伝送路2に出力すると共に、光伝送路2から入力される信号光 L_s を後段の出力光モニタ部20に伝える。このように本ラマン増幅器は、信号光 L_s の伝搬方向に対して励起光 L_p の伝搬方向が逆方向となる後方励起構成を有する。

【0017】

上記各励起光源11-1~11- n から出力される各々の光の波長は、信号光 L_s の波長帯域に対応させて設定される。例えば、石英系光ファイバが光伝送路2として用いられている場合、1550nm帯の信号光 L_s に対して短波長側に約100nmシフトした1450nm帯の波長帯域内に各励起光源11-1~11- n の出力波長がそれぞれ設定される。なお、本発明における信号光 L_s および各励起光源11-1~11- n の出力波長は上記の一例に限定されるものでは

なく、公知のラマン増幅器における波長設定を適用することが可能である。

【0018】

出力光モニタ部20は、例えば、分岐器21、光フィルタ22および受光素子(PD)23から構成される。分岐器21は、光伝送路2を伝搬した後にWDMカプラ13を通過した光の一部をモニタ光L_mとして分岐し、そのモニタ光L_mを光フィルタ22に送る。光フィルタ22は、信号光L_sの波長帯域に対応した透過帯を有するバンドパスフィルタであって、分岐器21から送られてくるモニタ光L_mより信号光波長帯域の光を抽出して受光素子23に出力する。受光素子23は、光フィルタ22を通過したモニタ光L_mを受光し、そのパワーに応じてレベルが変化する電気のモニタ信号を生成して制御部30に出力する。

【0019】

制御部30は、例えば、ASS光処理回路31、メモリ32、ASS光演算回路33、ALC回路34、シャットダウン回路35、励起光パワー制御回路36および設定値記憶回路37から構成される。なお、ここでは、ALC回路34、シャットダウン回路35および励起光パワー制御回路36が励起光供給部として機能することになる。

【0020】

ASS光処理回路31は、出力光モニタ部20の受光素子23から出力されるモニタ信号が入力され、後述するように本ラマン増幅器の運用を開始する前の準備段階において、励起光L_pを光伝送路2に供給することで発生するASS光のパワーを上記モニタ信号を基に検出し、その検出したASS光パワーを用いて、運用開始後におけるASS光パワーの計算に使用するモデル式の係数を求め、その結果をメモリ32に記憶させる。補正演算回路33は、メモリ32の記憶情報を読み出して、運用開始後における励起光L_pの供給状態に対応したASS光パワーの補正値を上記のモデル式に従って演算する。この補正演算回路33での演算結果は、ALC回路34およびシャットダウン回路35に伝えられる。

【0021】

ALC回路34は、出力光モニタ部20の受光素子23から出力されるモニタ信号と、補正演算回路33で演算されたASS光パワーの補正値とに基づいて、

本ラマン増幅器から出力される信号光 L_s のパワーが所要のレベルで一定となるように励起光 L_p の供給状態を制御するための信号を生成し、その制御信号を励起光パワー制御回路 3 6 に出力する。シャットダウン回路 3 5 は、受光素子 2 3 からのモニタ信号と、補正演算回路 3 3 で演算された A S S 光パワーの補正值とに基づいて、光伝送路 2 からラマン励起ユニット 1 に入力される信号光 L_s が遮断状態にあるか否かを判定し、遮断状態にある場合には、励起光 L_p の供給を停止させるか、または、人体に影響を与えない安全なレベルまで励起光 L_p のパワーを抑えるようにする制御信号を生成して励起光パワー制御回路 3 6 に出力する。

【 0 0 2 2 】

励起光パワー制御回路 3 6 は、各励起光源 $11-1 \sim 11-n$ の駆動状態を調整することで光伝送路 2 に供給される励起光 L_p のパワーを制御する回路である。この励起光パワー制御回路 3 6 は、運用を開始する際、設定値記憶回路 3 7 に予め記憶された励起光パワーの設定値に従って各励起光源 $11-1 \sim 11-n$ を駆動し、その後は A L C 回路 3 4 およびシャットダウン回路 3 5 からそれぞれ出力される制御信号に従って各励起光源 $11-1 \sim 11-n$ を制御する。また、上記の励起光パワー制御回路 3 6 は、現在の励起光パワーの設定状態を示す信号を A S S 光演算回路 3 3 に出力する機能を備えている。

【 0 0 2 3 】

次に、第 1 実施形態のラマン増幅器の動作について説明する。

図 2 は、運用開始前の準備段階における動作を説明するためのフローチャートである。

【 0 0 2 4 】

本ラマン増幅器では、例えば、光伝送システムの組み上げ時に行われる現地調整などといった運用開始前の準備段階における処理として、運用時に実際に使用される光伝送路 2 を用いた測定に基づいて、A S S 光パワーを計算するためのモデル式の係数を求める一連の処理が実行される。具体的には、まず、図 2 のステップ 1（図中 S 1 で示し、以下同様とする）において、 n 台の励起光源 $11-1 \sim 11-n$ のうちの 1 台が駆動され、その励起光源から出力される励起光 L_p を

光伝送路 2 に供給したときに発生する A S S 光のパワーが出力光モニタ部 2 0 により測定される。この A S S 光パワーの測定は、例えば図 3 の黒丸印に例示したように、励起光 L p の供給パワーを 5 0 mW、1 0 0 mW、1 5 0 mW、2 0 0 mW、2 5 0 mW などのように段階的に変化させて行われる。具体的には、上記の各測定ポイントに対応させて供給パワーの設定された励起光 L p がラマン増幅ユニット 1 から光伝送路 2（準備段階では信号光 L p の入力はない）に与えられると、その励起光 L p のラマン効果によって A S S 光が発生し、励起光 L p とは逆方向に伝搬する A S S 光が光伝送路 2 からラマン増幅ユニット 1 に入力され、その一部が分岐器 2 1 でモニタ光 L m として分岐された後に光フィルタ 2 2 を介して受光素子 2 3 で受光され、光電変換されたモニタ信号が A S S 光処理回路 3 1 に出力される。A S S 光処理回路 3 1 では、受光素子 2 3 からのモニタ信号を基に A S S 光のパワーが検出され、その検出結果が励起光 L p の供給パワーに対応させてメモリ 3 2 に記憶される。上記のような 1 台の励起光源を駆動して行われる A S S 光パワーの測定は、n 台の励起光源 1 1 - 1 ~ 1 1 - n のそれぞれについて順次行われ、すべての測定が完了するとステップ 2 に進む。

【0 0 2 5】

ステップ 2 では、n 台の励起光源 1 1 - 1 ~ 1 1 - n のうちの任意の 2 台が組み合わせられて同一パワーで駆動され、各々の出力光を合成した励起光 L p が光伝送路 2 に供給されて、その励起光 L p により発生する A S S 光パワーが測定される。2 台の励起光源の出力光パワーは、前述した 1 台の励起光源を駆動した場合の複数の測定ポイントの少なくとも 1 つ以上に対応させて設定されるものとする（例えば、1 0 0 mW 等）。この励起光源を 2 台組み合わせたときの A S S 光パワーの測定は、前述したステップ 1 の場合と同様して行われ、A S S 光処理回路 3 1 で検出される A S S 光パワーが 2 台の励起光源の組み合わせとパワーの設定値に対応させてメモリ 3 2 に記憶される。この 2 台の組み合わせによる A S S 光の測定は、n 台の励起光源 1 1 - 1 ~ 1 1 - n のすべての組み合わせについて順次行われ、全組み合わせの測定が完了するとステップ 3 に進む。

【0 0 2 6】

ステップ 3 では、n 台の励起光源 1 1 - 1 ~ 1 1 - n のすべてを同一のパワー

で駆動したときに発生する A S S 光パワーが測定される。ここでの測定データは、ステップ 1、2 における測定結果を基にして以降のステップで決定される A S S 光パワー計算用のモデル式の係数を検証するためのデータとして取得されるものである。なお、検証が不要な場合には、このステップ 3 の処理を省略することが可能である。

【 0 0 2 7 】

ステップ 4 では、メモリ 3 2 の記憶データが A S S 光処理回路 3 1 に読み出され、1 台の励起光源を駆動した場合に発生する A S S 光のパワーを表すモデル式が、ステップ 1 で実測されたデータを用いて作成される（図 2 の実線参照）。ここでは、励起光パワー P_P に対する A S S 光パワー P_{ASS} の関係を表すモデル式として次の（1）式に示す 2 次関数が適用され、これにメモリ 3 2 から読み出した実測値を代入して係数 a 、 b 、 c を求めることで、各励起光源 1 1 - 1 ~ 1 1 - n にそれぞれ対応したモデル式が作成され、その結果がメモリ 3 2 に記憶される。

【 0 0 2 8 】

【数 1】

$$P_{ASS} = aP_P^2 + bP_P + c \quad \dots(1)$$

【 0 0 2 9 】

ステップ 5 では、2 台の励起光源を駆動したときに発生する A S S 光パワーについて、1 台の励起光源を駆動した場合との比較が行われる。複数台の励起光源を駆動したときに発生する A S S 光のパワーは、1 台の励起光源を駆動したとき発生する A S S 光パワーの単純な和とはならない。これはある波長の励起光により生じた A S S 光が他の波長の励起光により利得を受けるためである。

【 0 0 3 0 】

例えば、1 5 5 0 n m 帯（C バンド）の信号光を波長の異なる 3 つの励起光で増幅するラマン増幅器について考えてみる。ここで、3 台の励起光源から出力される励起光のパワーを共に 1 0 0 m W とし、それぞれの励起光による C バンドに

対応したASS光パワーを P_{A1} , P_{A2} , P_{A3} 、任意の2波の励起光の組み合わせによるASS光パワーを P_{A12} , P_{A23} , P_{A31} とする。この場合、2波の励起光によるASS光パワーは、一方の励起光によるASS光が他方の励起光による利得を得たパワーとなり、双方の励起光の影響を受けたASS光のパワーを足し合わせたものになる。このため、2波の励起光によるASS光パワー P_{A12} , P_{A23} , P_{A31} は、次の(2)式に示すような関係式で表すことができる。

【0031】

【数2】

$$G_2 P_{A1} + G_1 P_{A2} = P_{A12}$$

$$G_3 P_{A2} + G_2 P_{A3} = P_{A23} \dots (2)$$

$$G_1 P_{A3} + G_3 P_{A1} = P_{A31}$$

【0032】

この(2)式における G_1 , G_2 , G_3 は、各励起光のCバンドにおける利得（特にASS光に与える利得）であり、以下では、上記 G_1 , G_2 , G_3 をASS利得と呼ぶことにする。

【0033】

上記の(2)式より、ASS利得 G_1 , G_2 , G_3 は、次の(3)式によって表されることになる。

【0034】

【数 3】

$$\begin{aligned}
 G_1 &= \frac{P_{A31}}{2P_{A3}} + \frac{P_{A12}}{2P_{A2}} - \frac{P_{A1}P_{A23}}{2P_{A2}P_{A3}} \\
 G_2 &= \frac{P_{A12}}{2P_{A1}} + \frac{P_{A23}}{2P_{A3}} - \frac{P_{A2}P_{A31}}{2P_{A3}P_{A1}} \quad \dots(3) \\
 G_3 &= \frac{P_{A23}}{2P_{A2}} + \frac{P_{A31}}{2P_{A1}} - \frac{P_{A3}P_{A12}}{2P_{A1}P_{A2}}
 \end{aligned}$$

【0 0 3 5】

上記（3）式に示すように、1 台の励起光源を駆動したときの A S S 光パワーの実測値 P_{A1} ， P_{A2} ， P_{A3} と、2 台の励起光源を組み合わせたときの A S S 光パワーの実測値 P_{A12} ， P_{A23} ， P_{A31} とを用いて、A S S 利得 G_1 ， G_2 ， G_3 を算出することができる。なお、ここでは、3 台の励起光源が設けられる場合を例示したが、4 台以上の励起光源が設けられる場合についても、各励起光源を 1 台ずつ駆動した場合の実測値と、2 台を組み合わせて駆動したときの実測値が取得されていれば、各励起光源に対応した A S S 利得を求めることが可能である。

【0 0 3 6】

上記の A S S 利得のデシベル（d B）値が、励起光パワーの 1 次関数に従うと仮定すると、A S S 利得の係数を計算することが可能になる。具体的には、A S S 利得係数を γ_1 ， γ_2 ， γ_3 とすると、例えば各励起光パワーを 1 0 0 mW とした場合の A S S 利得係数 γ_1 ， γ_2 ， γ_3 は次の（4）式で表すことができる。

【0 0 3 7】

【数 4】

$$\gamma_1 = \frac{10\log(G_1)}{100}, \gamma_2 = \frac{10\log(G_2)}{100}, \gamma_3 = \frac{10\log(G_3)}{100} \quad \dots(4)$$

【0038】

この(4)式に従って求めたASS利得係数 γ_1 , γ_2 , γ_3 が、ASS光パワーを計算するためのモデル式の係数としてメモリ32に記憶される。

ステップ6では、ステップ5で求めたASS利得係数を用いて、n台の励起光源をすべて駆動したときに発生するASS光パワーが計算される。具体的に、3台の励起光源を駆動したときにCバンドに発生するASS光のトータルパワー P_{ASS_total} (mW) は、次の(5)式により計算することができる。

【0039】

【数5】

$$P_{ASS_total} = 10^{[P_{ASS1} + \gamma_2 P_{P2} + \gamma_3 P_{P3}]/10} + 10^{[P_{ASS2} + \gamma_3 P_{P3} + \gamma_1 P_{P1}]/10} + 10^{[P_{ASS3} + \gamma_1 P_{P1} + \gamma_2 P_{P2}]/10} \dots(5)$$

【0040】

ただし、 P_{ASS1} , P_{ASS2} , P_{ASS3} の各値は、前述のステップ4で求められた(1)式の係数a, b, cと、各 P_{ASS1} , P_{ASS2} , P_{ASS3} に対応する励起光パワー P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} の設定値を基に計算されるASS光パワーである。

【0041】

ステップ7では、各波長の励起光の間で生じるラマン効果(ポンプ間ラマン効果)を考慮した実効的な励起光パワーが求められ、その実効的な励起光パワーを用いてASS光のトータルパワーが算出される。具体的に、例えばポンプ間ラマン効果によるエネルギー遷移係数をrとし、3台の励起光源から出力される励起光周波数を f_1 , f_2 , f_3 とした場合、各励起光パワーの実効的な強度増加率 Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 は、次の(6)式で表される。

【0042】

【数 6】

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= r\{P_2(f_2 - f_1) + P_3(f_3 - f_1)\} \\ \Delta_2 &= r\{P_3(f_3 - f_2) + P_1(f_1 - f_2)\} \dots(6) \\ \Delta_3 &= r\{P_1(f_1 - f_3) + P_2(f_2 - f_3)\}\end{aligned}$$

【0043】

よって、ポンプ間ラマン効果を考慮した実効的な励起光パワーは、次の（7）式の関係に従って表すことができる。

【0044】

【数 7】

$$\begin{aligned}P_{P1_eff} &= P_{P1}(1 + \Delta_1) \\ P_{P2_eff} &= P_{P2}(1 + \Delta_2) \dots(7) \\ P_{P3_eff} &= P_{P3}(1 + \Delta_3)\end{aligned}$$

【0045】

したがって、上記の（7）式により求められる実効的な励起光パワー P_{P1_eff} , P_{P2_eff} , P_{P3_eff} を用いて ASS 光のトータルパワーを算出すると、次の（8）式のようになる。

【0046】

【数 8】

$$\begin{aligned}P_{ASS_total} &= 10^{\{P_{ASS1} + \gamma_2 P_{P2_eff} + \gamma_3 P_{P3_eff}\}/10} + 10^{\{P_{ASS2} + \gamma_3 P_{P3_eff} + \gamma_1 P_{P1_eff}\}/10} \\ &\quad + 10^{\{P_{ASS3} + \gamma_1 P_{P1_eff} + \gamma_2 P_{P2_eff}\}/10} \dots(8)\end{aligned}$$

【0047】

ステップ8では、上記の(8)式に従って算出したASS光のトータルパワーと、前述のステップ3ですべての励起光源を駆動して測定したASS光パワーとの比較が行われる。ここでは、モデル式を用いた計算値と実測値の差が予め設定した閾値(例えば0.5dB等)以上であるか否かが判定され、閾値以上の場合にはステップ9に移り、上記のステップ7で用いられるエネルギー遷移係数 r を見直して、実効的な励起光パワーの補正を行った上でASS光トータルパワーを再度計算し、その計算値と実測値の差が閾値より小さくなるまで上記励起光パワーの補正を繰り返す。

【0048】

上記のようなステップ1～ステップ9に示した一連の処理を行うことによって、運用開始前の準備段階に、実際に使用する光伝送路2を用いた測定を基に、運用開始後におけるASS光パワーの計算に用いるモデル式の係数が求められ、その結果がメモリ32に記憶されるようになる。

【0049】

実際の運用が開始される段階になると、本ラマン増幅器では、励起光パワー制御回路36が、伝送される信号光 L_s に応じた励起光パワーの初期設定値を設定値記憶回路37から読み取り、その設定値に従って各励起光源11-1～11-nの駆動が行われる。これにより、所定のパワーを有する励起光 L_p が励起光供給部10から光伝送路2に供給され、光伝送路2を伝搬する信号光 L_s がラマン増幅される。このラマン増幅された信号光 L_s は、上述の図10に示したように、ラマン増幅により発生するASS光と累積ASE光を含んだ光となる。光伝送路2を伝搬した信号光 L_s は、ラマン励起ユニット1に入力されてWDMカップラ13を通過した後、出力光モニタ部20の分岐器21でその一部がモニタ光 L_m として分岐され、光フィルタ22で信号光帯域以外の光成分が除去されて受光素子23で電気のモニタ信号に変換される。受光素子23から出力されるモニタ信号は、ALC回路34およびシャットダウン回路35にそれぞれ送られる。

【0050】

ALC回路34では、受光素子23からのモニタ信号を基に信号光出力パワーが判断され、その信号光出力パワーについて、上述の図11に示したようなAS

S光の補正が、A S S光演算回路33から出力される信号によって示される補正值に従って行われる。具体的に、A S S光演算回路33では、前述した準備段階に求めた係数がメモリ32から読み出され、励起光パワー制御回路36から伝えられる現在の励起光 L_p の供給パワーに対応したA S S光パワーが上記の(8)式を用いて算出され、その算出結果が補正值としてA L C回路34に伝えられる。なお、この補正值は、シャットダウン回路35にも出力される。A S S光パワーの補正值が伝達されたA L C回路34では、受光素子23からのモニタ信号を基に判断した信号光出力パワーからA S S光パワーの補正值が差し引かれることでA S S光成分を補正した信号光出力パワーが求められる。そして、補正後の信号光出力パワーが所要のレベルで一定となるように励起光の供給状態を制御するための信号がA L C回路34から励起光パワー制御回路36に出力される。これにより、各励起光源 $11-1 \sim 11-n$ の駆動状態がフィードバック制御され、ラマン増幅器の出力一定制御が行われる。

【0051】

また、シャットダウン回路35では、上記A L C回路34の場合と同様にして、A S S光成分を補正した信号光出力パワーが求められ、その補正後の信号光出力パワーが予め設定した閾値以下であるか否かが判定される。閾値以下の場合には、信号光 L_s が遮断状態にあると判断して励起光 L_p の供給を停止させるか、または、励起光 L_p のパワーを所定のレベル以下に抑えるための制御信号が、シャットダウン回路35から励起光パワー制御回路36に出力される。これにより、各励起光源 $11-1 \sim 11-n$ の駆動状態が制御され、ラマン増幅器のシャットダウン制御が行われる。このシャットダウン制御の精度については、A S S光パワーを計算するためのモデル式の係数が、上述のステップ8およびステップ9の処理にあるように0.5 dB以下の誤差でA S S光パワーを算出できるように決定されているため、信号光パワーとA S S光パワーの比の値が約 $1/10$ となっても信号光を検出することが可能である。これは、例えばA S S光の発生量が -20 dBmである場合、信号光パワーが約 -30 dBm（伝送路出力では1波分の信号光パワーに相当）まで小さくなくてもそれを検出できるような精度となる。

【0052】

上記のように第1実施形態のラマン増幅器によれば、運用開始前の準備段階における現地調整処理として、運用時に実際に使用される光伝送路2を用いてASS光パワーの測定を行い、その測定結果に基づいてASS光パワーを算出するモデル式の係数を決定するようにしたことで、運用時におけるASS光パワーの補正を精度良く行うことができるようになるため、ラマン増幅器の出力一定制御やシャットダウン制御を確実に実行することが可能になる。

【0053】

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

図4は、本発明の第2実施形態による光増幅システムの構成を示すブロック図である。

【0054】

図4において、本実施形態の光増幅システムは、ラマン増幅器とエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)を縦続接続した公知の構成を有する光増幅システムについて、前段のラマン増幅器として上述の図1に示した第1実施形態の場合と同様の構成を適用すると共に、そのラマン増幅ユニット1を構成する制御部30の一部の機能と、後段のEDFAモジュール3を制御する機能とを共通のCPU4およびメモリ5によって実現し、ラマン増幅器およびEDFAが集中管理されるようにしたものである。

【0055】

CPU4は、ラマン増幅ユニット1の受光素子23から出力されるモニタ信号に応じて、前述した第1実施形態におけるASS光処理回路31に対応した処理を実行し、ASS光パワーを算出するためのモデル式の係数を求め、その結果をメモリ5に記憶させる。また、CPU4は、励起光パワー制御回路36から出力される励起光の供給状態を示す信号に応じて、第1実施形態におけるASS光演算回路33に対応した処理を実行し、運用時におけるASS光パワーの補正値を演算して、その結果をラマン増幅ユニット1のALC回路34およびシャットダウン回路35に出力する。さらに、CPU4は、EDFAモジュール3に関する公知の制御のための信号処理を実行する機能も備え、前段のラマン増幅器で発生

する A S S 光パワーの補正值を利用した E D F A の制御を行うことも可能な構成となっている。

【0 0 5 6】

なお、第 1 実施形態において設定値記憶回路 3 7 に記憶させていた励起光パワーの初期設定値に関する情報は、メモリ 5 に記憶されているものとする。また、上記以外の他の部分の構成および動作については、前述した第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【0 0 5 7】

このように第 2 実施形態の光増幅システムによれば、ラマン増幅器と E D F A を組み合わせた装置構成についても第 1 実施形態の場合と同様の効果を得ることができると共に、ラマン増幅器および E D F A について共通の C P U 4 およびメモリ 5 を設けて各々の制御を実行するようにしたことで、装置構成の簡略化を図ることが可能になる。

【0 0 5 8】

次に、本発明の第 3 実施形態について説明する。

図 5 は、本発明の第 3 実施形態によるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【0 0 5 9】

図 5 において、本実施形態のラマン増幅器は、上述した第 1 実施形態のラマン増幅器について、ラマン増幅された信号光 L_s の波長特性が所望の特性となるように励起光 L_p の供給状態を制御する機能を設けたものである。具体的に、本ラマン増幅器の構成が第 1 実施形態の場合と異なる部分は、出力光モニタ部 2 0 について、光フィルタ 2 1 を通過したモニタ光 L_m を m 個の波長ブロックに分割してモニタできるように、分波器 2 4 および m 個の受光素子 2 3 - 1 ~ 2 3 - m を設けると共に、第 1 実施形態で用いていた A L C 回路 3 4 およびシャットダウン回路 3 5 に代えて励起光パワー演算回路 3 8 を設けるようにした部分である。なお、上記以外の他の部分の構成は第 1 実施形態の場合と同様であるため、ここでの説明を省略する。

【0 0 6 0】

出力光モニタ部 2 0 に設けられる分波器 2 4 は、光フィルタ 2 1 を通過したモニタ光 L_m が 1 つの入力ポートに与えられ、そのモニタ光 L_m を m 個の波長ブロックに分波し、各波長ブロックの光を対応する出力ポートから受光素子 2 3 - 1 ~ 2 3 - m に出力する。各受光素子 2 3 - 1 ~ 2 3 - m は、分波器 2 4 の各出力ポートに接続され、分波器 2 4 で波長ブロックごとに分波されたモニタ光 L_m を電気のモニタ信号に変換して出力する。各受光素子 2 3 - 1 ~ 2 3 - m から出力されるモニタ信号は、A S S 光処理回路 3 1 および励起光パワー演算回路 3 8 にそれぞれ送られる。

【0 0 6 1】

励起光パワー演算回路 3 8 は、各受光素子 2 3 - 1 ~ 2 3 - m から出力される各波長ブロックに対応したモニタ信号と、A S S 光演算回路 3 3 で演算された A S S 光パワーの補正值を示す信号とが与えられ、これらの信号に基づいて所望の波長特性を有する出力信号光 L_s が得られるような励起光パワーの設定値を演算し、その演算結果を励起光パワー制御回路 3 6 に伝える。

【0 0 6 2】

上記のような構成のラマン増幅器では、上述した第 1 実施形態の場合と同様に、運用開始前の準備段階において、実際に使用する光伝送路 2 を用いて A S S 光パワーの測定が行われ、その測定結果に基づいて A S S 光パワー算出用のモデル式の係数が A S S 光処理回路 3 1 で求められ、その係数がメモリ 3 2 に記憶される。そして、準備段階で求めた係数を用いて A S S 光演算回路 3 3 で演算される A S S 光パワーの補正值を利用して、所望の波長特性の出力信号光 L_s を得るための励起光パワーの設定値が演算される。

ここで、励起光パワーの具体的な設定方法を図 6 のフローチャートを参照しながら説明する。以下の説明では、例えば、出力信号光 L_s を 3 つの波長ブロックに分割して励起光パワーの設定値を演算する場合を考えることにする。ただし、波長ブロックの分割数は上記の一例に限定されるものではない。

【0 0 6 3】

まず、図 6 のステップ 1 1 では、光伝送路 2 に対して、伝送され得る最大波長数の信号光 L_s が実際の運用時と同等のパワーで入力される。

ステップ 12 では、励起光 L_p が光伝送路 2 に供給されていない状態で、3 つの波長ブロックに分割した出力信号光 L_s の各パワーが出力光モニタ部 20 により測定される。そして、ステップ 11 における信号光 L_s の入力パワーと測定された信号光平均出力パワーとを用いて、各波長ブロックに対応した光伝送路 2 の平均損失 L_1 , L_2 , L_3 が算出される。

【0064】

ステップ 13 では、励起光源 11-1 ~ 11-n を各波長ブロックに対応したグループごとに駆動して、各々の波長ブロックについての信号光平均出力パワーの測定が行われる。ここでは、各波長ブロックに対応した励起光パワーを P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} とする。そして、各励起光パワー P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} に対応した A S S 光パワーの補正值が A S S 光演算回路 33 で演算され、その演算結果が励起光パワー演算回路 38 に伝えられる。励起光パワー演算回路 38 では、出力光モニタ部 20 で測定された各波長ブロックの信号光平均出力パワーについて、A S S 光演算回路 33 で演算された補正值に従い A S S 光成分の補正が行われる。ここでは、A S S 光補正を行った信号光平均出力パワーを P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} とする。この信号光平均出力パワー P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} は、各波長ブロックに対応した励起光パワー P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} および上記のステップ 12 で算出した損失 L_1 , L_2 , L_3 を用いて、次の (9) 式に示す関係で表すことができる。

【0065】

【数 9】

$$\begin{bmatrix} P_{S1} \\ P_{S2} \\ P_{S3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{P1} \\ P_{P2} \\ P_{P3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \quad \dots(9)$$

【0066】

したがって、上記の測定によって得られる各値を (9) 式に与えることにより、

各波長ブロックに対応した比例係数 A_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) からなる行列が求められるようになる。

【0067】

ステップ14では、ステップ13で求めた比例係数 A_{ij} からなる行列の逆行列を計算することにより、次の(10)式に示すように、所望の信号光平均出力パワー P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} を実現するのに必要となる励起光パワー P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} を算出するための関係式が導出される。

【0068】

【数10】

$$\begin{bmatrix} P_{P1} \\ P_{P2} \\ P_{P3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_{S1} - L_1 \\ P_{S2} - L_2 \\ P_{S3} - L_3 \end{bmatrix} \quad \dots(10)$$

【0069】

例えば、上記の(10)式において信号光平均出力パワー P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} を同じ値とすれば、ラマン増幅された信号光 L_s の波長特性を平坦にするために必要となる、各波長ブロックに対応した励起光パワーの設定値を得ることができるようになる。

【0070】

ステップ15では、上記の(10)式について、ポンプ間ラマン効果を考慮した比例係数が求められる。すなわち、上記の比例係数 A_{ij} は、波長ブロックごとの利得係数であり、ポンプ間ラマン効果が含まれていない係数である。実際には複数の波長ブロックに対応した励起光源を同時に駆動してラマン増幅が行われるため、ポンプ間ラマン効果を考慮した利得係数を求める必要がある。そこで、上記の(10)式に従って各波長ブロックの励起光パワー P_{P1} , P_{P2} , P_{P3} を求め、すべての波長ブロックに対応した励起光を上記のパワー設定で光伝送路2に供給する。そして、すべての波長ブロックに対応した励起光のパワーを例えば10mWだけ変化させ、その励起光パワーの変化分に対する信号光平均出力

パワーの変化分を測定する。この測定により、次の(11)式に示すように、励起光パワーの変化分 ΔP_{P1} , ΔP_{P2} , ΔP_{P3} に対する信号光平均出力パワーの変化分 ΔP_{S1} , ΔP_{S2} , ΔP_{S3} の関係を表す比例係数 B_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) が求められるようになる。

【0071】

【数11】

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{S1} \\ \Delta P_{S2} \\ \Delta P_{S3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{P1} \\ \Delta P_{P2} \\ \Delta P_{P3} \end{bmatrix} \quad \dots(11)$$

【0072】

ステップ16では、ステップ15で求めた比例係数 B_{ij} からなる行列の逆行列を計算することにより、次の(12)式に示すように、ポンプ間ラマン効果を考慮した関係式が導出される。

【0073】

【数12】

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{P1} \\ \Delta P_{P2} \\ \Delta P_{P3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_{S1} \\ \Delta P_{S2} \\ \Delta P_{S3} \end{bmatrix} \quad \dots(12)$$

【0074】

具体的に、ラマン増幅されたWDM信号光の波長特性偏差を小さくするということは、例えば図7に示すように、各波長ブロックB1, B2, B3に対応した信号光平均出力パワー P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} を所望の目標パワーレベル P_{S0} に近づけることになる。出力光モニタ部20で測定される信号光平均出力パワー P_{S1} , P_{S2} , P_{S3} と目標パワーレベル P_{S0} との差を ΔP_{S1} , ΔP_{S2} , ΔP_{S3} とすると、この差 ΔP_{S1} , ΔP_{S2} , ΔP_{S3} を埋めるために必要と

なる励起光パワーの差分が ΔP_{P1} 、 ΔP_{P2} 、 ΔP_{P3} となる。

【0075】

ステップ17では、上記の差分 ΔP_{P1} 、 ΔP_{P2} 、 ΔP_{P3} が収束するまで、(12)式を用いて算出した励起光パワーの設定値の補正および信号光平均出力パワー P_{S1} 、 P_{S2} 、 P_{S3} の測定が繰り返される。

【0076】

上記のようなステップ11～ステップ17に示した一連の処理を行うことによって、実際に使用する光伝送路2を用いた測定結果に基づいて、所望の波長特性を有する出力信号光 L_s を得るための励起光パワーの設定値が求められるようになる。このような励起光パワーの設定値の演算処理は、本ラマン増幅器の運用を開始する前に実行してその結果をメモリ等に記憶させるようにすることができる。また、運用開始後に励起光パワーの設定値の演算処理を実行して、出力信号光 L_s の波長特性の制御を逐次行うようにすることも可能である。

【0077】

上記のように第3実施形態のラマン増幅器によれば、運用開始前に実際に使用する光伝送路2を用いて係数を決定したモデル式により ASS 光パワーの補正値を算出し、その補正値を用いて各波長ブロックに対応した励起光パワーの設定値を演算するようにしたことで、出力信号光 L_s の波長特性の制御を優れた精度で確実に実行することが可能になる。

【0078】

なお、上記の第3実施形態では、 ALC 回路34およびシャットダウン回路35に代えて励起光パワー演算回路38を設けた構成例を示したが、励起光パワー演算回路38と共に ALC 回路34およびシャットダウン回路35を設けて、各々の制御が同時に行われるようにすることも勿論可能である。また、上述の図4に示した第2実施形態の場合と同様にして、ラマン増幅器と $EDFA$ を縦続接続した光増幅システムについて、上記の第3実施形態のラマン増幅器を適用することも可能である。この場合の装置構成を図8に例示しておく。

【0079】

次に、本発明の第4実施形態について説明する。

図 9 は、本発明の第 4 実施形態による光伝送システムの構成を示す図である。

図 9 の光伝送システムは、信号光送信装置（OS）6 から信号光受信装置（OR）7 に WDM 信号光を伝送するシステムについて、信号光送信装置 6 および信号光受信装置 7 の間を接続する光伝送路 2 上に所要の中継間隔で配置される複数の光中継器 8 に、上述したような A S S 光パワーの補正処理が行われるラマン増幅器を適用したものである。

【0080】

ここでは、各光中継器 8 が、第 2 実施形態の場合のようにラマン増幅ユニット 1 と E D F A モジュール 3 とを縦続接続した構成からなる。また、後段の E D F A モジュール 3 は、WDM 信号光を分波器 4 1 で所要の波長帯に分波し各波長帯に対応した E D F A 4 2 A, 4 2 B でそれぞれ増幅して合波器 4 3 で合波する構成となっている。さらに、各波長帯に対応した E D F A 4 2 A, 4 2 B の前後には、前段の光中継器 8 から信号光と共に伝えられる副信号光（OSC）を取り出す分波器 4 4 A, 4 4 B と、後段の光中継器 8 に伝える副信号光を合波する合波器 4 5 A, 4 5 B とがそれぞれ配置されている。制御回路 5 0 は、第 2 実施形態における CPU 4 およびメモリ 5 に対応した機能に加えて、分波器 4 4 A, 4 4 B で取り出される前段の光中継器 8 からの副信号光を受信する機能と、後段の光中継器 8 に送信する副信号光を生成して合波器 4 5 A, 4 5 B に出力する機能とを備えている。

【0081】

上記のような光伝送システムでは、各光中継器 8 を制御するために信号光と共に伝送される副信号光を利用して、上述の各実施形態で説明したような運用開始前の準備段階における A S S 光の補正計算用の係数作成処理や励起光パワーの設定処理を実施するタイミングが各光中継器に通知される。

【0082】

この副信号光を用いた現地調整の具体的な手順としては、例えば、光伝送システムの組み上げが完了して全システムの電源が投入されると、各光中継器 8 間で副信号光が正常に伝達されているかの動作確認が行われる。そして、副信号光の動作確認がとれると、信号光送信装置 6 に最も近い光中継器 8 について、A S S

光の補正計算用の係数作成処理が実行される。この係数作成処理が完了すると、それを知らせる副信号光が後段の光中継器 8 に送信される。2 段目の光中継器 8 では、初段の光中継器 8 からの副信号光の受信が確認されると、A S S 光の補正計算用の係数作成処理が実行される。以降これと同様にして各光中継器 8 での係数作成処理が順次実行される。そして、すべての光中継器 8 についての係数作成処理が完了すると、信号光送信装置 6 における全波長の信号光の立ち上げが行われ、各信号光を波長多重した WDM 信号光が光伝送路 2 に送信される。

【0 0 8 3】

信号光送信装置 6 から光伝送路 2 への WDM 信号光の送信開始が副信号光により 1 段目の光中継器 8 に通知されると、その 1 段目の光中継器 8 では、各励起光パワーの設定値の演算処理が実行される。そして、励起光パワー設定値が演算されると、その光中継器内のラマン増幅ユニット 1 および各波長帯の E D F A 4 2 A, 4 2 B が立ち上げられる。1 段目の光中継器の立ち上げが完了すると、それを知らせる副信号光が後段の光中継器 8 に送信され、その副信号光を受信した 2 段目の光中継器 8 でも、励起光パワー設定値の演算処理および光増幅器の立ち上げが実行される。以降これと同様にして各光中継器 8 での励起光パワー設定値の演算処理および光増幅器の立ち上げが順次実行される。そして、すべての光中継器 8 についての励起光パワー設定値の演算処理が完了したことによって運用開始前の現地調整が終了する。

【0 0 8 4】

上記のように第 4 実施形態の光伝送システムによれば、信号光送信装置 6 および信号光受信装置 7 の間の光伝送路 2 上に配置された複数の光中継器 8 について運用開始前の現地調整処理を実行するタイミングを副信号光を利用して各光中継器 8 の間で通知するようにしたことで、光伝送システム全体での現地調整を円滑に行うことが可能になる。

【0 0 8 5】

なお、上記の第 4 実施形態では、ラマン増幅器および E D F A を備えた光中継器の一例を示したが、本発明はこれに限らず、ラマン増幅器だけで WDM 信号光の増幅を行う構成の光中継器についても同様にして応用することができる。また

、光中継器 8 内の E D F A モジュール 3 で W D M 信号光が各波長帯に分波された状態において、前段の光中継器 8 からの副信号光の受信および後段の光中継器 8 への副信号光の送信が行われるようにしたが、副信号光の受信および送信は光中継器 8 内の任意の位置で行うことが可能である。

【0086】

以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめる。

【0087】

(付記 1) 増幅媒体で発生するラマン効果によって信号光を増幅するラマン増幅器において、

増幅媒体に励起光を供給する励起光供給部と、

増幅媒体を伝搬して出力される光のパワーを測定する出力光モニタ部と、

運用開始前の準備段階において、運用時に実際に使用する増幅媒体に励起光を供給して当該増幅媒体内で発生する自然ラマン散乱光のパワーを前記出力光モニタ部で測定し、該測定された自然ラマン散乱光のパワーに基づいて、運用開始後に自然ラマン散乱光のパワーを計算するためのモデル式の係数を求める自然ラマン散乱光処理部と、

該自然ラマン散乱光処理部で求められた係数を記憶する記憶部と、

該記憶部に記憶された係数を適用したモデル式に従い、前記励起光供給部により増幅媒体に供給される励起光パワーに応じて、運用開始後に発生する自然ラマン散乱光のパワーを算出する自然ラマン散乱光演算部と、

該自然ラマン散乱光演算部で算出された自然ラマン散乱光のパワーを用いて、前記出力光モニタ部で測定される出力光パワーを補正し、該補正された出力光パワーに基づいて、前記励起光供給部の動作を制御する励起光制御部と、

を備えて構成されたことを特徴とするラマン増幅器。

【0088】

(付記 2) 付記 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記励起光供給部は、波長の異なる複数台の励起光源を有し、

前記自然ラマン散乱光処理部は、前記複数台の励起光源を 1 台ずつ駆動したときに前記出力光モニタ部で測定される自然ラマン散乱光のパワーと、前記複数台

の励起光源のうちの 2 台を組み合わせて駆動したときに前記出力光モニタ部で測定される自然ラマン散乱光のパワーとを用いて、前記モデル式の係数を求めることを特徴とするラマン増幅器。

【 0 0 8 9 】

(付記 3) 付記 2 に記載のラマン増幅器であって、

前記自然ラマン散乱光処理部は、前記複数台の励起光源をすべて駆動したときに前記出力光モニタ部で測定される自然ラマン散乱光のパワーを用いて、モデル式の係数の検証を行うことを特徴とするラマン増幅器。

【 0 0 9 0 】

(付記 4) 付記 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記増幅媒体が伝送用光ファイバであり、該伝送用光ファイバの信号光出力側に前記励起光供給部が配置される後方励起構成であることを特徴とするラマン増幅器。

【 0 0 9 1 】

(付記 5) 付記 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記励起光制御部は、前記補正された出力光パワーが予め設定したレベルで一定となるように、前記励起光供給部をフィードバック制御することを特徴とするラマン増幅器。

【 0 0 9 2 】

(付記 6) 付記 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記励起光制御部は、前記補正された出力光パワーが予め設定した閾値以下に低下したとき、励起光の供給を停止するか、または、励起光のパワーを所定のレベル以下に抑えるためのシャットダウン制御を行うことを特徴とするラマン増幅器。

【 0 0 9 3 】

(付記 7) 付記 1 に記載のラマン増幅器であって、

前記出力光モニタ部は、増幅媒体を伝搬して出力される光を複数の波長ブロックに分割して各々の波長ブロックに対応した出力光のパワーを測定し、

前記励起光制御部は、前記自然ラマン散乱光演算部で算出された自然ラマン散

乱光のパワーを用いて、前記出力光モニタ部で測定される各波長ブロックに対応した出力光のパワーをそれぞれ補正し、該補正された各波長ブロックの出力光パワーに基づいて、ラマン増幅された信号光の波長特性が目標とする波長特性に近づくように、励起光の供給状態を制御することを特徴とするラマン増幅器。

【0094】

(付記8) 付記1に記載のラマン増幅器と、該ラマン増幅器に縦続接続された希土類添加ファイバ増幅器と、を備えて構成されたことを特徴とする光増幅システム。

【0095】

(付記9) 付記8に記載の光増幅システムであって、

前記自然ラマン散乱光処理部および前記自然ラマン散乱光演算部の各機能と、前記希土類添加ファイバ増幅器の動作を制御するための信号処理を実行する機能とを備え、前記ラマン増幅器および前記希土類添加ファイバ増幅器の各動作を集中管理する回路を設けたことを特徴とする光増幅システム。

【0096】

(付記10) 信号光送信装置から光伝送路に送信された信号光を光伝送路上に配置された光中継器で増幅しながら信号光受信装置まで中継伝送する光伝送システムにおいて、

前記光中継器が、付記1に記載のラマン増幅器を備えて構成されたことを特徴とする光伝送システム。

【0097】

(付記11) 付記10に記載の光伝送システムであって、

前記光中継器が光伝送路上に複数配置され、

該各光中継器の制御を行うための副信号光を各々の光中継器間で伝送する副信号光伝送部を有し、

前記各光中継器において前記自然ラマン散乱光処理部にモデル式の係数を求める処理を実行させるタイミングおよび前記励起光制御部に前記励起光供給部の制御を実行させるタイミングが、前記副信号光を介して各々の光中継器に通知されることを特徴とする光伝送システム。

【0 0 9 8】

(付記 1 2) 付記 1 0 に記載の光伝送システムであって、

前記光中継器が、前記ラマン増幅器に縦続接続された希土類添加ファイバ増幅器を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【0 0 9 9】**【発明の効果】**

以上説明したように本発明のラマン増幅器によれば、運用時に実際に使用する増幅媒体を用いた測定を運用開始前に行って、計算により自然ラマン散乱光パワーを求めるためのモデル式の係数を取得し、その係数を適用したモデル式に従って自然ラマン散乱光パワーを算出するようにしたことで、実際の運用状況に対応した自然ラマン散乱光パワーの補正を行うことができるようになるため、出力一定制御やシャットダウン制御、波長特性偏差の制御などを確実に実行できるラマン増幅器を提供することが可能になる。また、このようなラマン増幅器を用いて光増幅システムや光伝送システムを構成することにより、システムの運用を適切に行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施形態によるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 2】 上記の第 1 実施形態について、運用開始前の準備段階における動作を説明するためのフローチャートである。

【図 3】 図 2 のステップ 1 における A S S 光パワーの測定の一例を示す図である。

【図 4】 本発明の第 2 実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 5】 本発明の第 3 実施形態によるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 6】 上記の第 3 実施形態について励起光パワーの設定方法を説明するためのフローチャートである。

【図 7】 上記の第 3 実施形態における信号光の波長特性制御の具体的な一例

を示す図である。

【図 8】 上記の第 3 実施形態に関連した他の構成例を示すブロックである。

【図 9】 本発明の第 4 実施形態による光伝送システムの構成を示す図である

。

【図 1 0】 一般的なラマン増幅器の出力信号光に含まれる雑音光を模式的に示した図である。

【図 1 1】 従来のラマン増幅器における信号光出力パワーのモニタ方式の一例を説明する図である。

【符号の説明】

- 1 ラマン増幅ユニット
- 2 光伝送路
- 3 E D F A モジュール
- 4 C P U
- 5, 3 2 メモリ
- 6 信号光送信装置 (O S)
- 7 信号光受信装置 (O R)
- 8 光中継器
- 1 0 励起光供給部
- 1 1 - 1 ~ 1 1 - n 励起光源
- 1 2 合成器
- 1 3 W D M カプラ
- 2 0 出力光モニタ部
- 2 1 分岐器
- 2 2 光フィルタ
- 2 3, 2 3 - 1 ~ 2 3 - n 受光素子 (P D)
- 2 4 分波器
- 3 0 制御部
- 3 1 A S S 光処理回路
- 3 3 A S S 光演算回路

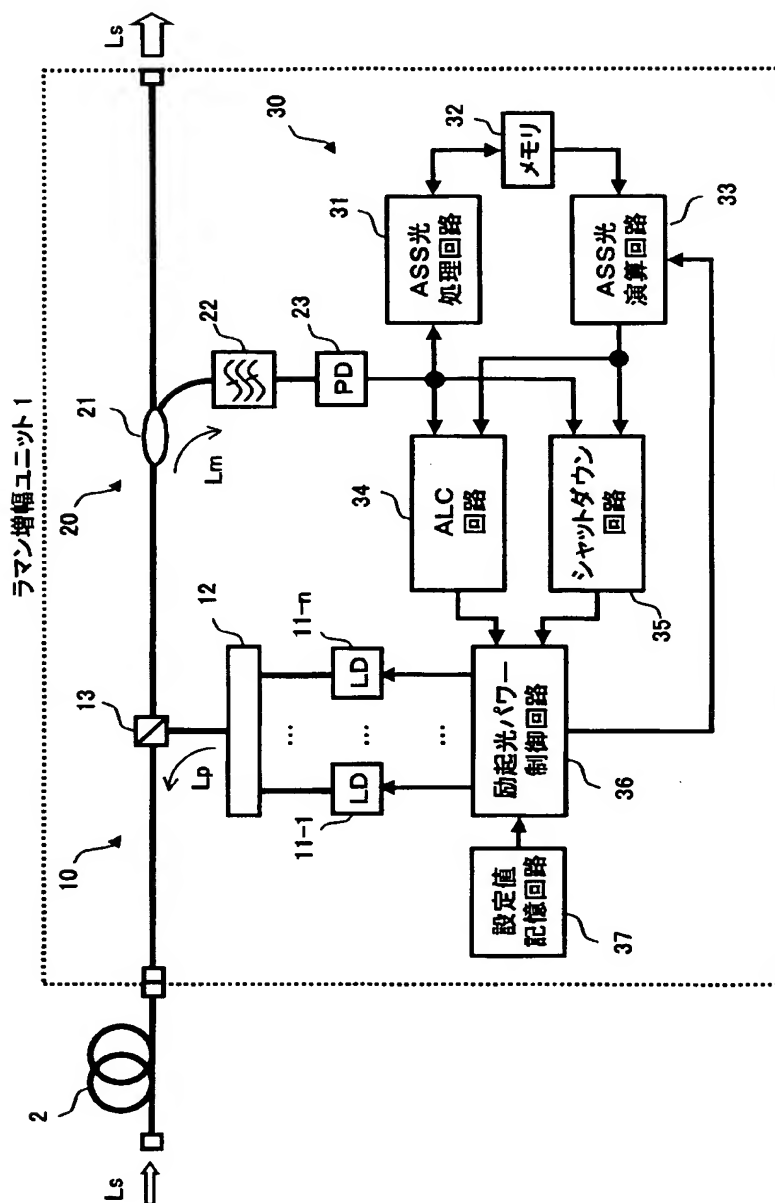
3 4	A L C 回路
3 5	シャットダウン回路
3 6	励起光パワー制御回路
3 7	設定値記憶回路
3 8	励起光パワー演算回路
L s	信号光
L p	励起光
L m	モニタ光

【書類名】

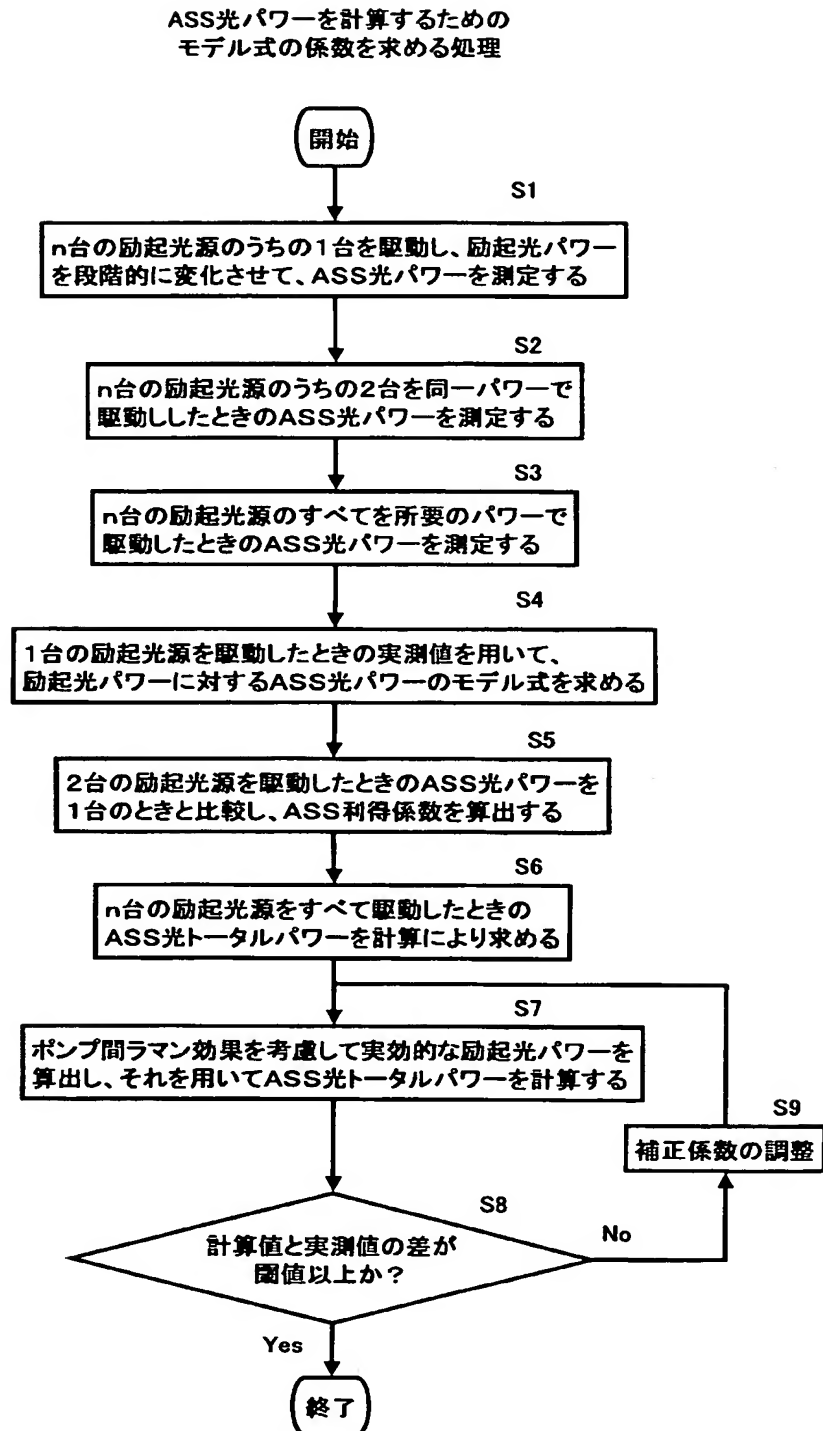
図面

【図 1】

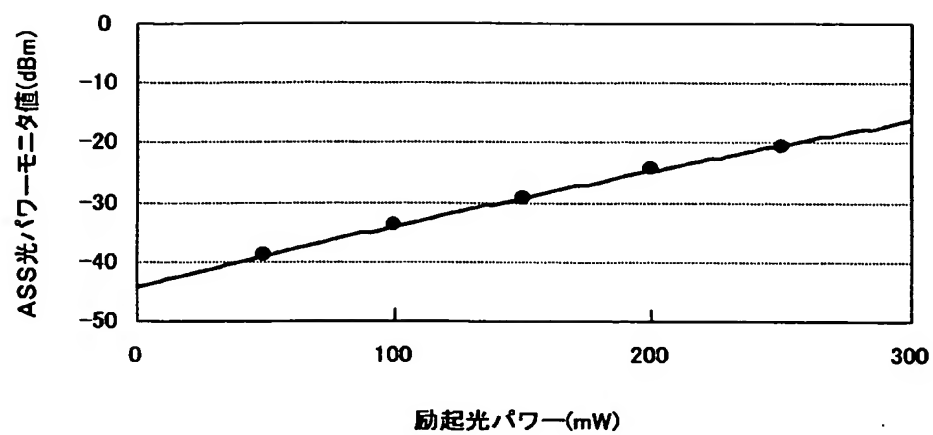
本発明の第1実施形態の構成



【図 2】

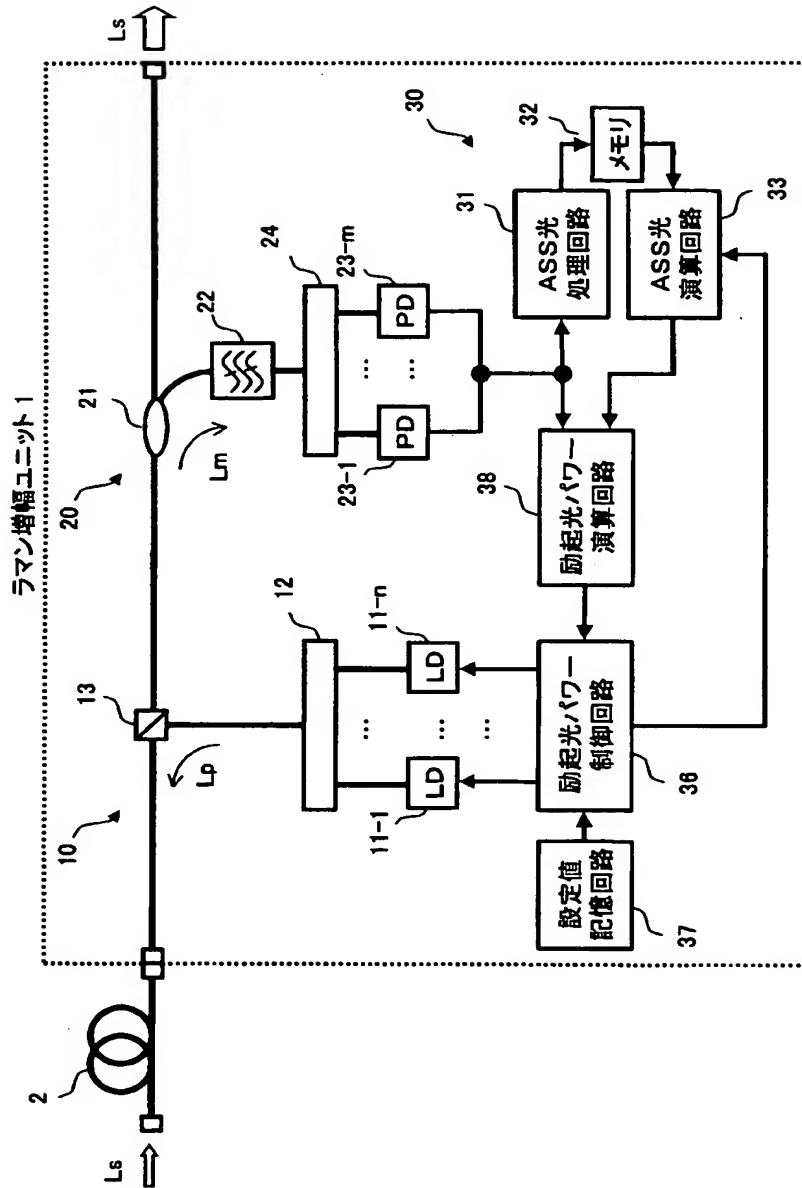


【図 3】



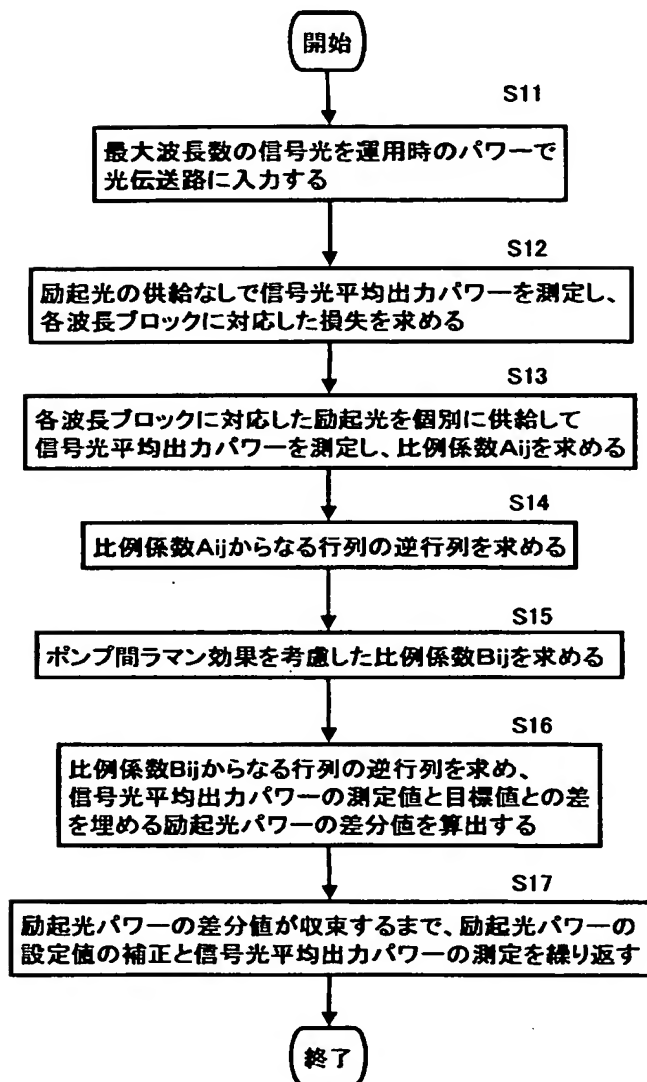
【図 5】

本発明の第3実施形態の構成

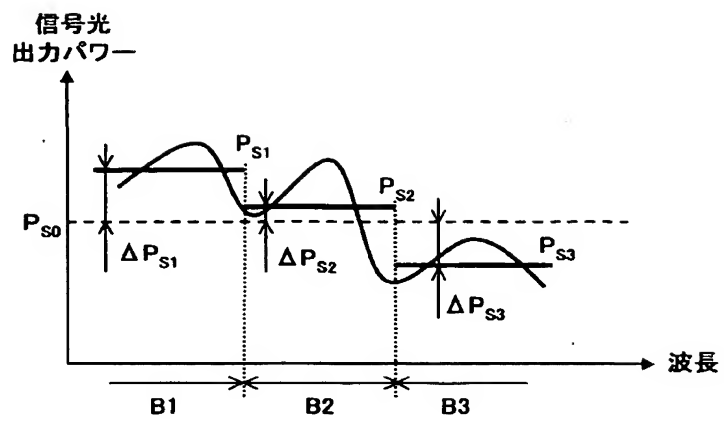


【図 6】

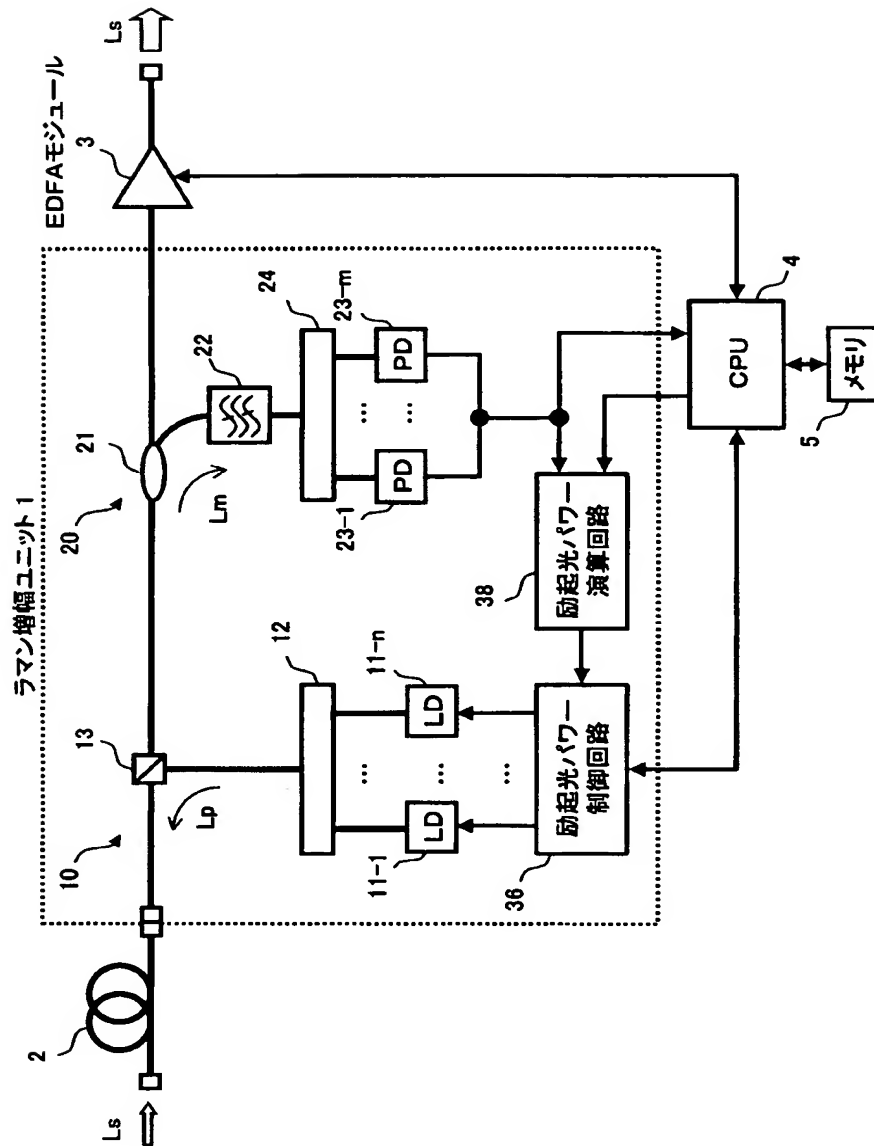
所望の波長特性の出力信号光を得るための
励起光パワーの設定値を求める処理



【図 7】

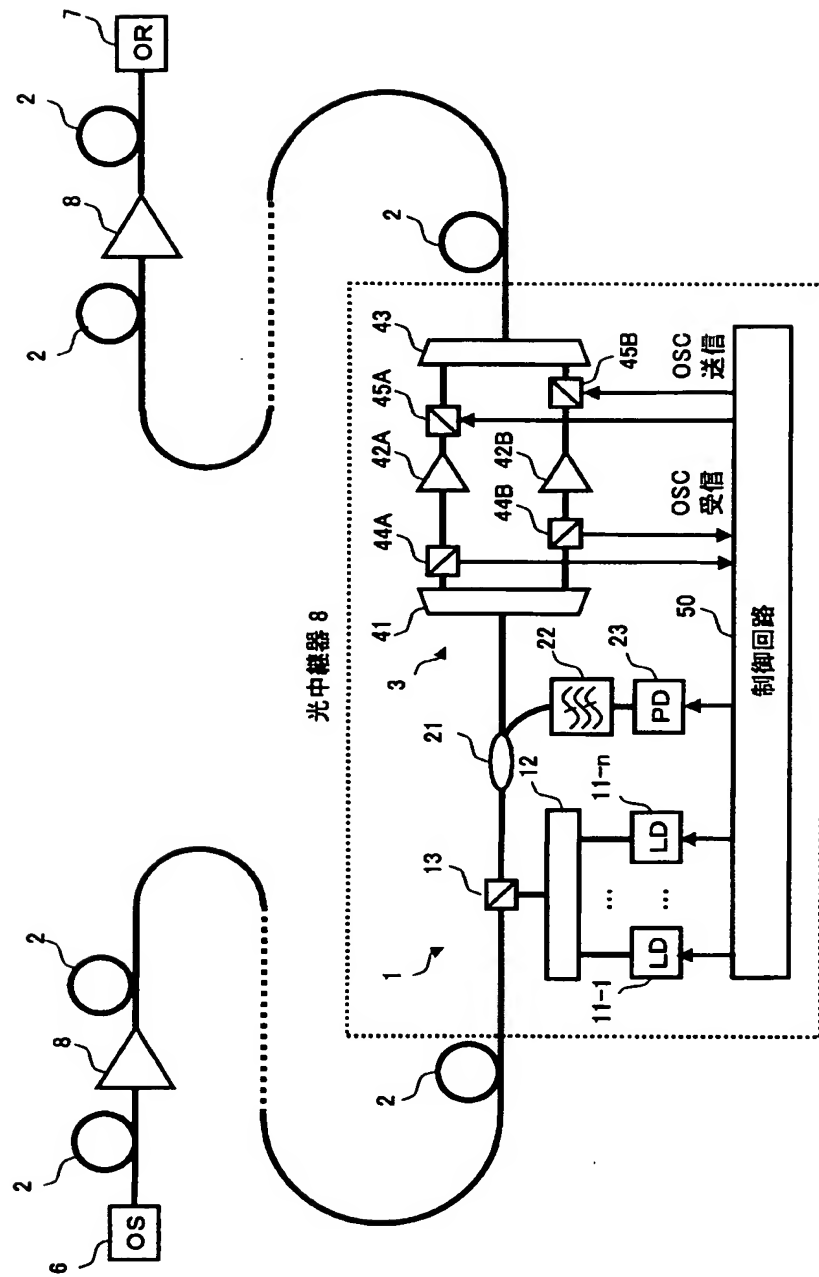


【図 8】



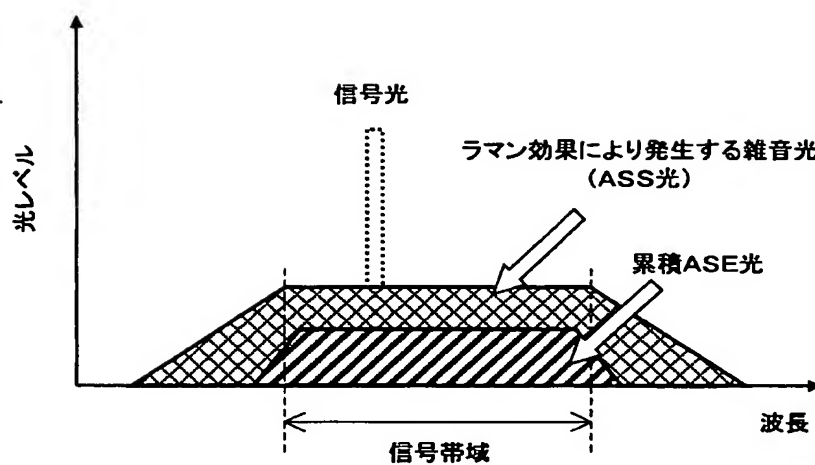
【図 9】

本発明の第4実施形態の構成



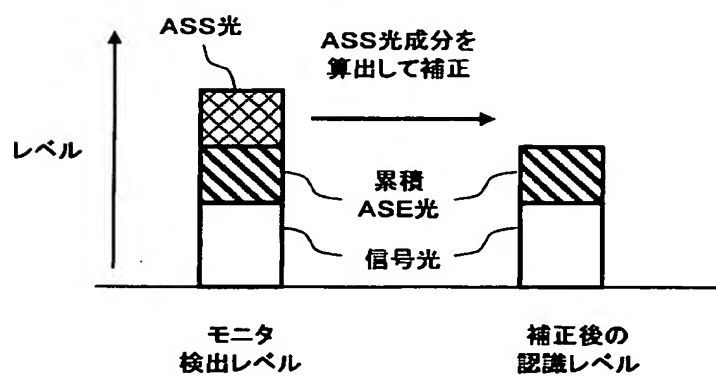
【図 10】

関連技術



【図 11】

関連技術



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 自然ラマン散乱光のパワーを高い精度で算出して出力信号光のモニタ値の補正を行い励起光の供給状態を確実に制御できるラマン増幅器を提供する。

【解決手段】 本ラマン増幅器は、運用開始前において、運用時に実際に使用する光伝送路 2 に励起光供給部 2 0 で発生する励起光 L_p を供給し、光伝送路 2 で発生する自然ラマン散乱 (A S S) 光のパワーを出力光モニタ部 2 0 により測定し、その結果を基に A S S 光パワーを計算するためのモデル式の係数を A S S 光処理回路 3 1 で求める。そして、運用開始後には、上記の係数を適用したモデル式に従って、励起光の供給パワーに対応した A S S 光パワーを A S S 光演算回路 3 3 で算出して出力光モニタ部 2 0 で測定される出力光パワーの補正を行い、その補正された出力光パワーに基づいて A L C やシャットダウン制御等を行う。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 8 1 7 9 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社